

Lebensgrundlage Energie

Kind, Dieter

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 52, 2002,
S.93-104



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Lebensgrundlage Energie

von **Dieter Kind**, Braunschweig*

(Eingegangen am 19.02.2003)

Leben ist ohne Energie nicht möglich, das gilt für alle Stadien der Evolution bis zum Menschen als Individuum, aber auch für die Menschheit in ihrer Gesamtheit. Erst seit wenigen Generationen ist uns bewusst geworden, dass die Zukunft der menschlichen Zivilisation wesentlich davon abhängt, dass der Energiebedarf ohne einschneidende Rückwirkungen auf Umwelt und wirtschaftliche Entwicklung befriedigt werden kann. Dies zu sichern ist eine langfristige Herausforderung für Wissenschaft, Technik und insbesondere auch Politik. Heute verfügbare und zukünftig realisierbare Optionen müssen gegeneinander abgewogen werden.

1. Die Energiefrage aus der Sicht der Biologie

Alle bekannten Daten weisen darauf hin, daß Aktivität und Intensität des Lebens im Laufe der Evolution zugenommen haben. Beide können durch die Stoffwechselrate von Lebewesen beschrieben werden, die über die Verbrauchsrate von Sauerstoff oder die an die Umwelt abgegebene Wärmeleistung bestimmt werden kann. Daraus ergibt sich ein Maß für die Energiefreisetzung aus den zugeführten Nahrungsstoffen. Man bezieht sich dabei auf die Beobachtung von Lebewesen unter Ruhebedingungen, d.h. auf den sogenannten „Grundumsatz“ von Energie, durch den die Lebensbedingungen gerade noch erfüllt sind.

Als Ergebnis vieler Forschungsarbeiten hat es sich gezeigt, dass die dem Grundumsatz entsprechende Leistung P_0 in Abhängigkeit von der Masse m durch die folgende Beziehung quantitativ beschrieben werden kann:

$$P_0 = a \cdot (m/m_0)^k$$

Der „Stoffwechselkoeffizient“ a und der Exponent k sind Konstanten, die für bestimmte Tiergruppen charakteristische Werte haben. k liegt für die meisten Tierarten zwischen 0,7 und 0,8, m_0 ist die gewählte Masseinheit. Wendet man die Gleichung zur Berechnung des Grundumsatzes eines – hypothetischen – Tieres der Masse $m = m_0 = 1 \text{ g}$ an, so wird $P_0 = a$ und erlaubt so auch einen Vergleich von Tieren verschiedener Gruppen und mit sehr unterschiedlichem Gewicht [1,2].

Die im Laufe der Evolution entstandenen Lebewesen unterscheiden sich sehr deutlich in der Größe ihres Stoffwechselkoeffizienten. Tabelle 1 zeigt, wie im Laufe der Evolution der auf 1 g bezogene Grundumsatz zugenommen hat.

* Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing E.h. Dieter Kind · Knappstraße 4 · D-38116 Braunschweig

Tabelle 1: Zeit seit dem Auftreten und Stoffwechselkoeffizient a verschiedener Tierarten (Werte nach [1])

Tierart	Zeit in Mio Jahren	a in mW
Urtierchen	- 1000	0,098
Krebstiere	- 500	0,727
Amphibien	- 370	1,45
Kriechtiere	- 280	2,46
Säugetiere	- 120	18,0

Wenn ein Lebewesen in irgend einer Weise aktiv wird, muß der Energieumsatz durch erhöhten Stoffwechsel über den Betrag des Grundumsatzes hinaus gesteigert werden, und das hat eine Erwärmung des Organismus zur Folge. Bis zu einem für die Moleküle und Strukturen des Körpers erträglichen Temperaturwert von etwa 45°C bleibt nur eine geringe Spanne, die für artspezifische Aktivitäten nicht ausreicht, wenn der dafür erforderliche erhöhte Energieumsatz zu einer deutlichen Temperaturerhöhung führen würde.

Die Evolution hat einen Weg gefunden, um die hierdurch gegebene Begrenzung, die man auch als

1. Wärmeschwelle

bezeichnet, zu überwinden, indem sie Organismen mit Thermoregulierung entwickelte. Dies war der Übergang von den wechselwarmen zu den gleichwarmen Organismen, die durch der Umgebung anpassbare Mechanismen des Wärmeaustausches in der Lage sind, ihre Körpertemperatur konstant zu halten. Damit wurde die für erhöhte Aktivitäten erforderliche Energiezufuhr ohne schädliche Erwärmung ermöglicht. Die Überwindung dieser 1. Wärmeschwelle dürfte mit dem Auftreten der ersten Säugetiere vor etwa 200 Millionen Jahren stattgefunden haben. Diese besitzen die Fähigkeit, trotz hoher Körpertemperaturen im Ruhezustand von 36 bis 38°C hohe Aktivitäten zu entwickeln, ohne die kritische Grenztemperatur von etwa 45°C zu überschreiten [1,2].

Unsere heutige Zivilisation hätte sich jedoch auch unter Ausnutzung aller Möglichkeiten einer Thermoregulierung allein nicht entwickeln können. Vielmehr bedurfte es der Überwindung einer

2. Wärmeschwelle,

um den durch Thermoregulierung ermöglichten Bereich noch weiter zu vergrößern. Sie gelang durch die Verwendung externer Energie in vorher nicht gekanntem Ausmaß. Von allen gleichwarmen Lebewesen ist dies nur den Menschen gelungen. In diesem Sinne kann der Beginn der menschlichen Zivilisation durch die Beherrschung des Feuers als externe Wärmequelle markiert werden. Voraussetzung war eine gesteigerte Fähigkeit, mit Informationen umzugehen, sie aufzunehmen, zu speichern und zu verwerten.

In dem stark vereinfachten Bild 1 ist dargestellt, wie im Laufe der letzten 600 Millionen Jahre die Evolution zunächst nur wechselwarme Tierarten kannte, bis nach Überwindung

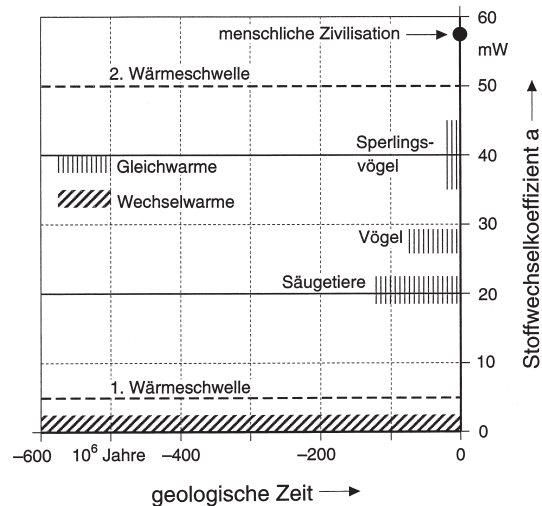


Bild 1: Grundumsatz des Stoffwechsels und erstes Auftreten verschiedener Tierarten (nach Daten von [1,2])

der 1. Wärmeschwelle durch Thermoregulierung eine Entwicklung zu gleichwarmen Tierarten möglich wurde. Erst die Überwindung der 2. Wärmeschwelle durch Nutzung externer Energie vor etwa 750 000 Jahren schuf die Voraussetzung für eine weitere Stufe der Evolution. Tabelle 2 zeigt, wie seitdem der individuelle Energieverbrauch der Menschen, ausgedrückt durch die mittlere Leistung, stark zugenommen hat. Die für eine gesunde Ernährung erforderliche Energie ist nur ein sehr kleiner Teil des Gesamtverbrauchs, weshalb der in der letzten Spalte angegebene und aus dem Energieverbrauch berechnete Koeffizient a nicht mehr als „Stoffwechselkoeffizient“ verstanden werden darf.

Tabelle 2: Energieverbrauch pro Kopf während der Entwicklung der menschlichen Zivilisation (Werte nach [1,2]). Zum Vergleich: Der für gesunde Ernährung empfohlene Wert von 3000 kcal pro Tag entspricht einer mittleren Leistung von 145 W.

Niveau der Evolution	Zeit in Jahren	Verbrauch in kcal/Tag	Verbrauch in W	a in mW
Urmensch	- 2 000 000	2 000	100	22,5
mit Feuer	- 750 000	5 000	240	56
Domestizierung	- 6 000	12 000	580	135
Industrielle Revolution	1800	77 000	3 700	866
Deutschland	2000	125 000	6 000	1400
Gesamte Welt	2000	44 000	2 100	495

Der erste Schritt ins neue Leben begann für den Urmenschen mit der Zähmung des Feuers zum Wärmen der Wohnstätte, zur Abschreckung wilder Tiere und zur Zubereitung sonst ungenießbarer Speisen. Dies gab unseren Vorfahren die Möglichkeit, ihren pro-Kopf-Energieverbrauch, der zuvor etwa 100 W entsprach, zu verdoppeln. Heute liegt dieser Wert im Weltdurchschnitt bei über 2000 W, das ist 16mal so viel wie die für eine gesunde Ernährung erforderliche Energiezufuhr. In Deutschland liegt die mittlere Leistung bei 6000 W und in den USA bei 11000 W [3].

Bedenkt man zu erwartende Rückwirkungen auf den Energiehaushalt der Erde, so zählt neben der Zunahme des individuellen Energieverbrauchs natürlich auch die vorhersehbare Entwicklung der Weltbevölkerung. Obwohl die Geburtenrate in allen Erdteilen rückläufig ist, muss doch damit gerechnet werden, dass sich die Gesamtzahl der auf der Erde lebenden Menschen von heute etwa 6 Milliarden in den kommenden Jahrzehnten noch einmal verdoppeln wird. Es ist damit offensichtlich, dass die Zunahme des Energieverbrauchs durch den Menschen so nicht unbegrenzt weitergehen kann.

Wenn man auch die komplizierten chemisch-physikalischen Prozesse, die unser Klima bestimmen, noch keineswegs voll verstanden hat oder gar vorhersagen kann, besteht doch kein Zweifel mehr daran, dass die als Treibhauseffekt bezeichnete Erwärmung der unteren Erdatmosphäre und andere für den natürlichen Lebensraum schädliche Auswirkungen auch vom Energieverhalten der Menschen beeinflusst werden [4,5]. Damit deutet sich eine ökologisch bedingte Begrenzung des Energieverbrauchs der Menschheit insgesamt an, die als eine

3. Wärmeschwelle

der Evolution interpretiert werden kann. Im Gegensatz zu den ersten beiden Wärmeschwellen betrifft sie nicht individuelle Organismen, sondern alle Menschen und mit ihnen viele andere Populationen [1,2].

2. Die Energiefrage aus der Sicht der Physik

Es ist sicher kein Zufall, daß das „Gesetz von der Erhaltung der Energie“, der 1. *Hauptsatz der Thermodynamik*, nicht von Physikern sondern von Physiologen zuerst formuliert wurde, denn diese bemühten sich schon lange darum, die *vis vitalis* genannte Lebenskraft, der man alle unerklärbaren Leistungen der Lebewesen zuschrieb, zu verstehen. Der Schiffsarzt JULIUS ROBERT MAYER hatte festgestellt, daß das Blut der Matrosen unter tropischen Bedingungen eine mehr hellrote Färbung aufweist als unter dem heimischen Klima. Er hat daraus den richtigen Schluß gezogen, daß in den Tropen Oxydationsprozesse im Organismus weniger intensiv ablaufen, weil ein Teil der vom Körper benötigten Wärme von der Umwelt bereitgestellt wird.

Seine Arbeit wurde noch 1841 von der führenden physikalischen Zeitschrift „Annalen der Physik“ abgelehnt und erschien erst auf Betreiben von JUSTUS VON LIEBIG ein Jahr später in den „Annalen der Chemie“. HERMANN VON HELMHOLTZ veröffentlichte dann 1847 ohne Kenntnis der Mayerschen Arbeit seinen berühmten Aufsatz „Über die Erhaltung der Kraft“, wobei in heutiger Ausdrucksweise die „Erhaltung der Energie“ gemeint war. Hier

findet sich die erste vollständige Formulierung des Energieerhaltungssatzes, der bald in seiner fundamentalen Bedeutung für alle Naturwissenschaften erkannt wurde.

So eingängig und gut verständlich der Satz von der Erhaltung der Energie auch ist, so irreführend kann er sein, wenn es darum geht, Energie in eine bestimmte Nutzarbeit zu verwandeln. Der Wirkungsgrad einer Umwandlung, d.h. das Verhältnis von Nutz- zu Ausgangsenergie, ergibt sich erst aus dem weit weniger anschaulichen 2. *Hauptsatz der Thermodynamik*. Dieser geht auf 1824 veröffentlichte Überlegungen von *Sadi Carnot* zurück und wurde 1865 von *RUDOLF CLAUSIUS* durch Einführung der Entropie als eigenständige Zustandsgröße allgemein formuliert. Er besagt, daß nur ein Teil einer Gesamtenergie in Nutzenergie umgewandelt werden kann, wenn die Umwandlung auf dem Umweg über thermische Energie erfolgt. Der Grund dafür ist, dass Wärme nicht von selbst von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übergeht. Deshalb müssen wir zwischen umkehrbaren und nicht umkehrbaren Energieumwandlungen unterscheiden. Das ist vor allem dann von großer energiewirtschaftlicher Bedeutung, wenn Wärme in mechanische oder elektrische Energie umgewandelt werden soll.

Wie andere Wissenschaftler hat sich auch *FRIEDRICH HUND* (Bild 2), ein Altmeister der Theoretischen Physik, schon vor Jahrzehnten über die Bedeutung der Energie für die



Bild 2: Friedrich Hund (1896 – 1997), Theoretischer Physiker

langfristige Zukunft der Menschheit Gedanken gemacht. Inhaltlich mit anderen Autoren übereinstimmend, unterscheidet er in besonders anschaulicher Formulierung vier zeitliche Phasen. In seinem Aufsatz „*Die physikalischen Rahmenbedingungen unseres Daseins*“ von 1976 heisst es [6]:

„Bei der Wichtigkeit der Energieversorgung für unsere Zivilisation könnte man versucht sein, die Menschheitsgeschichte in folgende Abschnitte zu gliedern:

- (1) die Vergangenheit (bis ins 19. Jahrhundert), in der man mit der Sonnenenergie auskam,
- (2) das Zeitalter der Ausplünderung von Vorräten (im wesentlichen das 20. Jahrhundert), wobei einige Völker recht gut leben und es auch zu einem hohen Stand der experimentellen Wissenschaften gekommen ist,
- (3) eine Übergangszeit, in der man sich der kommenden Erschöpfung der Vorräte bewußt ist und sich auf sie einstellt,
- (4) eine Zukunft, in der man wieder mit der Sonnenenergie allein auskommt, aber zum Unterschied von (1) mit fortgeschrittener Technik.“

Wir leben offenbar in der Übergangszeit (3) und beginnen, die Begrenztheit der fossilen Energieträger bei Überlegungen zur Zukunft kommender Generationen zu berücksichtigen. Dabei kommt es darauf an, daß die Menschheit alle ihre Fähigkeiten einsetzt, um ohne ökologische oder gesellschaftliche Katastrophen den stabilen Bereich (4) zu erreichen. Die Aussichten, dieses Ziel zu verwirklichen, sind nach HUND umso größer, je länger die Übergangszeit durch Ausnutzung aller Optionen einer *fortgeschrittenen Technik* gestaltet werden kann. Diese richtige und wichtige Erkenntnis darf bei in die Zukunft gerichteten energiepolitischen Entscheidungen nicht übersehen werden.

In der Beschreibung des Abschnitts (4) erkennt man eine Übereinstimmung mit dem der Biologie entlehnten Begriff einer 3. Wärmeschwelle. Ihre Überwindung ist Voraussetzung für eine insgesamt stabile Entwicklung der Biosphäre, die auch einer menschlichen Zivilisation einen gesicherten Lebensraum gewährt.

3. Energiepolitik aus der Sicht von Technik und Wirtschaft¹

Energie ist nicht nur Grundlage des individuellen Lebens sondern auch jeder Gesellschaft, sei es einer Stadt, eines Landes oder der ganzen Welt. Ohne ausreichende Energieversorgung wäre unsere heutige Zivilisation nicht zu bewahren. Daher ist die Befriedigung des Energiebedarfs nicht nur eine technisch-wissenschaftliche Herausforderung, sondern zugleich eine gesellschaftliche Aufgabe. Es darf folglich nicht überraschen, daß die öffentliche Diskussion in hohem Maße von Emotionen und Stimmungen bestimmt wird, und dadurch oft auch die realistischen Optionen aus dem Blick verliert. Deshalb sollen nach den oben dargestellten eher grundsätzlichen Überlegungen aus Biologie und Physik in diesem Abschnitt die aktuellen Energiefragen diskutiert werden.

Das der Forstwirtschaft entlehnte Prinzip des *Nachhaltigen Handelns* bedeutet in der Energiepolitik, den Energiebedarf der Menschen unter *gleichrangiger* Berücksichtigung der drei untereinander in Konkurrenz stehenden Ziele *Umweltverträglichkeit*, *Versorgungs-*

¹ Der Energiebericht 2001 des BMWi [7] enthält ausführliche Angaben zum aktuellen Stand sowie eine kritische Diskussion des Potentials verschiedener Optionen

sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu befriedigen („Energiepolitisches Zieldreieck“ nach [7]). Nach den vorstehenden Überlegungen kann dies auch als die Forderung nach der Überwindung einer 3. Wärmeschwelle interpretiert werden.

Energie ist jedoch nicht gleich Energie, wie man aus dem Energieerhaltungssatz fälschlicherweise schließen könnte. Der Wert eines Energieangebots wird davon bestimmt, ob es zur Deckung des Bedarfs nach Art und Zeit geeignet ist. Dies macht es notwendig, bei energiewirtschaftlicher Nutzung zwischen Primär- und Sekundärenergie zu unterscheiden. Dabei versteht man unter Primärenergie die verfügbare Gesamtenergie, unter Sekundärenergie die gewünschte Nutzenergie.

Elektrische Energie kann mit hohem Wirkungsgrad in nahezu jede andere Energieform umgewandelt, übertragen und verteilt werden. Da sie jedoch in energiewirtschaftlichem Maßstab nicht direkt speicherbar ist, kommt ihr die Rolle einer bevorzugten Nutzenergie zu. Bei ihrer Erzeugung aus thermischer Energie tritt als Folge des so genannten *Thermischen Wirkungsgrades*, der in der Größenordnung von 40% liegt, grundsätzlich auch eine hohe Verlustwärme auf, die nur in Ausnahmefällen genutzt werden kann und meist durch Kühlung abgeführt werden muß.

Einen Überblick über den Verbrauch von Primärenergie und die Erzeugung von elektrischer Energie in Deutschland im Jahr 2000 gibt Bild 3. Das linke Diagramm zeigt, dass etwa 84 % der Primärenergie aus fossilen Energieträgern gedeckt werden, die im Verlauf der Erdgeschichte aus Sonnenenergie gebildet wurden. Die rechts dargestellte Erzeugung elektrischer Energie beträgt nur etwa 14 % der gesamten Primärenergie.

Alle Bürger eines Landes sind zugleich Energieverbraucher und sie finden die im Haushalt für Strom und Heizung verbrauchten Kilowattstunden in ihrer monatlichen Abrechnung. Deshalb sind Richtwerte für individuelle Verbrauchszahlen sehr viel anschaulicher als globale Angaben.

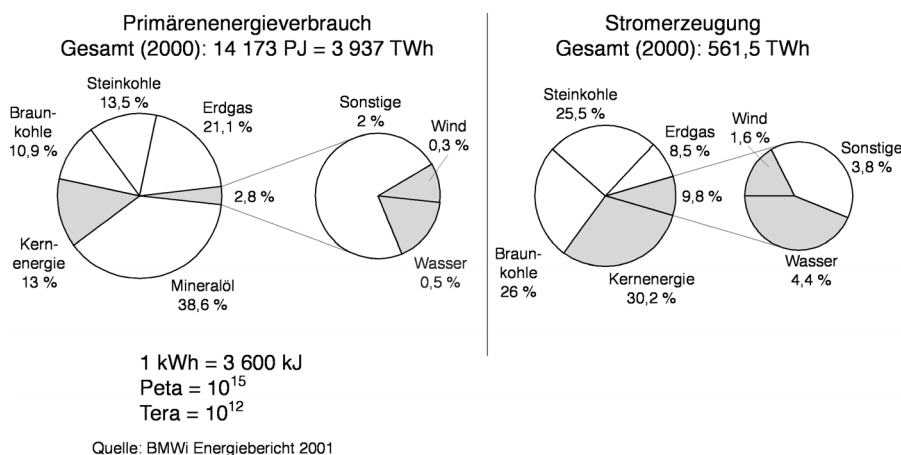


Bild 3: Primärenergieverbrauch und Stromerzeugung in Deutschland im Jahr 2000 [7]

In Deutschland entspricht der pro-Kopf-Verbrauch an Energie nach Tabelle 2 einer mittleren Leistung von etwa 6000 W. Daraus lassen sich aus [3] die folgenden ungefähren Jahresrichtwerte je Einwohner errechnen:

$$\begin{aligned}\text{Jahresverbrauch } 6 \text{ kW} \cdot 8760 \text{ h} &= 50000 \text{ kWh}, \\ \text{davon 25 \% im Haushalt} &= 12500 \text{ kWh}, \\ \text{und 4 \% als Haushaltsstrom} &= 2000 \text{ kWh}.\end{aligned}$$

Welche Möglichkeiten bestehen, durch die Anwendung *fortgeschrittener Technik* nach HUND den Übergang von Abschnitt (3) nach Abschnitt (4) ohne einen die wirtschaftliche und politische Stabilität der Welt gefährdenden Zeitdruck zu vollziehen? Einige Optionen dafür sollen im Folgenden aufgeführt werden:

Energieanwendung:

Effektive und verlustarme Nutzung in allen Bereichen, insbesondere bei der Wärmeversorgung von Bauten und im Verkehr.

In den Industriestaaten, die durch das hohe Niveau ihres Verbrauchs am ehesten dazu in der Lage sind, haben die Wirtschaft und das Verhalten der Bürger bereits zu erheblichen Einspareffekten geführt. Diese wurden bisher jedoch meist durch ein zusätzliches Wirtschaftswachstum wieder ausgeglichen.

Energieerzeugung:

Steigerung des Wirkungsgrades bei Wärmekraftwerken,
angemessener Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung,
verstärkter Einsatz „erneuerbarer Energien“ (s.u.),
Brennstoffzellen für Autos und für dezentrale Strom-Wärme-Erzeugung,
Wasserstoff als Energieträger (nicht als Energiequelle!),
Biomasse als nachwachsende Energiequelle,
neue Bauarten von Kernspaltungs-Kraftwerken und
Kernfusion nach dem Vorbild der Sonne.

Seit einigen Jahren wird der möglichst rasche Ausbau von Quellen so genannter „*erneuerbarer Energie*“ zur Verminderung des CO₂-Problems und als Ersatz für die später vorgesehene Abschaltung von Kernkraftwerken betrieben. Obwohl diese Anstrengungen überwiegend nur die Stromerzeugung und damit nach Bild 3 nur einen Bruchteil des Problems betreffen, ist dies ein zentraler Begriff in der Energiediskussion nicht nur in Deutschland geworden.

Für eine vergleichende Bewertung der oft sehr unvollständigen Angaben über verschiedene Kraftwerksarten benötigt man charakteristische Kenndaten. Eine wichtige Größe ist dabei die Jahresbenutzungsdauer T_B . Sie gibt an, in wieviel Stunden bei Nennleistung P die gleiche Energie W erzeugt würde wie in einem vollen Jahr mit 8760 Stunden beim wirklichen Betrieb:

$$T_B = W / P < 8760 \text{ h}$$

Braunkohle- oder Kernkraftwerke, die zur Deckung der so genannten Grundlast eingesetzt werden, können mit etwa $T_B = 8000$ h betrieben werden. Windkraftanlagen erreichen am Land nur etwa 2000 h, auf See bis 4000 h, Solaranlagen in unseren Breiten sogar nur etwa 1000 h. Da elektrische Energie wegen noch heute fehlender effektiver Energiespeicher im Augenblick des Bedarfs erzeugt werden muss, ist es für den Wert einer Kilowattstunde aber auch entscheidend, ob eine Anpassung an den zeitlich veränderlichen Bedarf möglich ist. Diese Gesichtspunkte müssen bei der Bewertung verschiedener Quellen erneuerbarer Energie, insbesondere bei Wind- und Photovoltaikanlagen, berücksichtigt werden. *Optionen für erneuerbare Energie sind vor allem:*

Wasserkraftenergie aus dem jährlichen Klimakreislauf,
Energie aus der Biomasse jeder Vegetationsperiode,
Windenergie aus den Luftströmungen und
Sonnenstrahlung für thermische oder elektrische Energie.

- Wasserkraft besitzt bei weitem das größte Potenzial. Sie übernimmt heute weltweit etwa 20% der Stromerzeugung, kann jedoch in Deutschland aus geografischen Gründen kaum weiter ausgebaut werden. Immerhin ermöglichen schon heute leistungsfähige Hochspannungs-Kabelverbindungen mit Skandinavien eine wirtschaftliche Nutzung des dortigen großen Wasserkraftpotenzials.
- Biomasse, z.B. Holz und pflanzliche Stoffe, sowie Biogas könnten bei einem Potenzial, das auf nahezu 10 % geschätzt wird, auch in Deutschland wesentlich mehr genutzt werden. 2 kg gepresste Holzpellets haben etwa den gleichen Energieinhalt wie 1 Liter Benzin.
- Die Technik der Nutzung von Windenergie hat in den letzten Jahrzehnten große Fortschritte erzielt. Durch die Höhe der gesetzlich festgelegten Einspeisevergütung ist die Errichtung von Windkraftanlagen eine sichere Kapitalanlage auf Kosten der Allgemeinheit geworden, sie bestimmen schon heute an günstigen Standorten das Landschaftsbild². Einer Anwendung auf dem Festland ist durch die Jahresbenutzungsdauer, die auch an günstigen Standorten nur etwa 2000 h beträgt, enge Grenzen gesetzt. Technische Probleme, die sich aus den unberechenbaren Schwankungen der Erzeugung ergeben, werden durch die geplanten großen off-shore-Anlagen weiter zunehmen [8].
- Solarstromerzeuger auf der Basis von Photovoltaik³, sind energiewirtschaftlich für unsere Breiten wegen ihrer kleinen Jahresbenutzungsdauer noch kritischer zu beur-

² Der rasante Ausbau in Deutschland hat seine Ursache in einer volkswirtschaftlich problematisch hohen Subvention in Form der gesetzlich vorgeschriebenen Einspeisevergütung von 9 Cent/kWh, die ein Vielfaches des Marktpreises beträgt. Die dadurch von allen Stromverbrauchern aufzubringende Subvention hat im Jahre 2000 bereits etwa 1 Mrd Euro für 1,6 % der Stromerzeugung erreicht.

³ Für Photovoltaikanlagen beträgt die in Deutschland gesetzlich festgelegte Einspeisevergütung 50 Cent/kWh. Sie bereiten dem Netzbetrieb nur deshalb bisher keine Probleme, weil ihre Stromerzeugung vernachlässigbar klein ist. Die Subvention des Solarstroms ist daher vor allem als eine Maßnahme zur Förderung der technischen Entwicklung und nicht der Energiebedarfsdeckung zu verstehen.

teilen. Solarthermische Stromerzeugung ist dagegen nach dem heutigen Entwicklungsstand schon eher als eine auch energiewirtschaftlich aussichtsreiche Zukunftsoption anzusehen.

Letztlich sind alle diese Energiearten auf die Strahlung der Sonne zurückzuführen, deren Quelle die Kernfusion von Wasserstoffatomen ist. Diesen mit hoher Energiefreisetzung verbundenen Prozess kontrolliert auf der Erde ablaufen zu lassen, ist das anspruchsvolle und durch die in den letzten Jahren erreichten Fortschritte näher gerückte Ziel der Kernfusionsforschung. Wenn eines Tages wirtschaftliche Fusionskraftwerke errichtet werden könnten, stünde eine Energiequelle zur Verfügung, die wegen der praktischen Unbegrenztheit des benötigten Brennstoffs zu Recht als erneuerbar bezeichnet werden darf.

Ein beträchtlicher Teil des inneren Wärmehaushalts der Erde stammt aus dem Zerfall der radioaktiven Elemente Kalium, Uran und Thorium in der Erdkruste. Sie erzeugen an der Erdoberfläche einen konstanten Wärmestrom von 45 mW/m^2 [9], was einer Jahresenergie von 200 000 TWh und damit etwa dem Doppelten der heute weltweit verbrauchten Primärenergie entspricht. Dies ist eine der Quellen der oben nicht erwähnten Erdwärme, die aus geologischen Gründen aber nur regionale Bedeutung hat wie z.B. in Island. Auch in Deutschland gibt es eine Reihe von Anlagen, deren weiterer Ausbau einige Prozent des heutigen Strombedarfs decken könnte. Wegen ihrer Unerschöpflichkeit ist auch Erdwärme eine erneuerbare Energie.

Wie in dem bereits besprochenen Bild 3 gezeigt, lieferten die erneuerbaren Energien im Jahre 2000 etwa 2,8 % der Primärenergie und 9,8 % der Stromerzeugung. Wenn auch durch massive staatliche Förderung beträchtliche Steigerungsraten erzielt werden, besteht doch keine Aussicht, dass sie in einigermaßen überschaubarer Zukunft zu einer tragenden Säule der Energiebedarfsdeckung in Deutschland und in vergleichbaren Ländern werden können [3,5].

Diese Einschätzung sollte jedoch nicht als eine Empfehlung verstanden werden, die Förderung der technisch-wissenschaftlichen *Entwicklung* von Quellen erneuerbarer Energien zu vernachlässigen. In der heutigen Situation könnten jedoch die von der Volkswirtschaft aufzubringenden begrenzten Mittel sehr viel effektiver durch andere Optionen als durch einen verstärkten *Ausbau von Wind- und Sonnenkraftwerken in Deutschland* eingesetzt werden. Es ist nicht einzusehen, warum ausgerechnet auf diesem so wichtigen Gebiet der Wettbewerb zwischen konkurrierenden Alternativen durch staatlichen Eingriff verhindert wird.

4. Zusammenfassung und Folgerungen

Die Evolution der Lebewesen wurde wesentlich durch zwei Entwicklungsstufen bestimmt. Thermoregulation ermöglichte Säugetieren und Vögeln vor etwa 200 Millionen Jahren die Überwindung einer 1. Wärmeschwelle und sie erreichten als Gleichwarme einen vielfach höheren Stoffwechselumsatz als die viel älteren Wechselwarmen. Die Nutzung des Feuers als externe Energie kennzeichnet die Überwindung einer 2. Wärmeschwelle und damit den Beginn der menschlichen Zivilisation vor etwa 750 000 Jahren.

Die starke Steigerung der Nutzung externer Energie durch den Menschen in Verbindung mit dem Wachstum der Weltbevölkerung erzwingt wegen ökologischer Rückwirkungen eine Begrenzung des Gesamtverbrauchs. Dies kann im Sinne der Evolution als eine 3. Wärmeschwelle interpretiert werden, die jedoch nicht das einzelne Individuum, sondern die ganze Menschheit und die Erde insgesamt betrifft. Es ist eine Aufgabe für viele kommende Generationen, durch eine evolutionäre Entwicklung auch diese Schwelle zu überwinden und damit die Voraussetzung für ein friedliches Miteinander von Mensch und Natur zu erfüllen.

Die Lösung dieser Aufgabe erfordert große Anstrengungen, doch ist über bereits bekannte Optionen hinaus zu erwarten, daß Forschung und Entwicklung kommenden Generationen Wege erschließen werden, von denen wir heute noch nichts wissen. Eine Dramatisierung der Situation ist dabei keineswegs hilfreich, sondern birgt die Gefahr falscher energiepolitischer Entscheidungen. Sie mögen zwar heute Wählerstimmen bringen, können aber schon morgen zu einer schwer abtragbaren Hypothek für unsere Nachkommen werden. Deren Aufgabe wird es sein, eine weitgehende Umsteuerung von fossilen auf erneuerbare Energiequellen in einer Zeitspanne zu verwirklichen, die ausreicht, um wirtschaftliche und politische Instabilität zu vermeiden. Das ist kein Programm für Jahrzehnte, sondern für Jahrhunderte.

Alle Optionen müssen geprüft und genutzt, keine darf von vornherein ausgeschlossen werden, insbesondere auch nicht die Kernenergie, wenn man das ehrgeizige Ziel einer wesentlichen Verminderung der CO_2 -Erzeugung erreichen will. Schließlich besitzt die Kernspaltungsenergie von allen nichtfossilen Optionen, die den Industrieländern heute technisch zur Verfügung stehen, das größte Potenzial [3,5]. Auch wäre das irdische Leben ohne die Energieerzeugung durch Kernreaktionen in der Erde selbst und in der Sonne nicht möglich.

Es ist auch zu beachten, dass die Industrieländer ihre eigene Situation nicht auf die ganze Welt übertragen dürfen. Die langfristige Lösung des Energieproblems betrifft die ganze Menschheit und muß daher auch global angegangen werden. Die Entwicklungsländer werden nicht nur taub sein gegen Appelle zum Energiesparen, sondern durch ihren noch immer anhaltenden Bevölkerungszuwachs den Druck auf eine Umsteuerung zunächst noch weiter erhöhen [4]. Das Ziel muß eine Entwicklung im Stil der Evolution sein, denn eine wie auch immer betriebene Revolution würde Bewährtes zerstören und weltweite Verteilungskämpfe auslösen, deren Vorboten schon heute die internationale Politik mit bestimmen.

Es gibt durchaus gute Chancen, dass die Menschheit in heute zwar noch fern liegender Zukunft aber eben noch rechtzeitig eine für alle Völker ausreichende und umweltverträgliche Energieversorgung aufbauen kann. Die kritischen Fragen auf diesem Weg liegen wahrscheinlich weniger auf technisch-wissenschaftlichem Gebiet, vorausgesetzt, es finden sich rechtzeitig wieder genug junge Menschen, die die Bedeutung und die Faszination dieser Aufgabe erkennen. Die grundsätzlichen Probleme liegen vielmehr im Bereich von Politik und Gesellschaft.

Literatur:

- [1] LAMPRECHT, I. & A.I. ZOTIN, Bioenergetik und menschliche Zivilisation – Reflexionen über Evolution. Sitzungsber. Ges. Naturf. Freunde Bd.**36**, (1997) S.17-30
- [2] ZOTIN, A.A., I. LAMPRECHT & A.I. ZOTIN, Bioenergetic Progress and Heat Barriers. J.Non-Equilib.Thermodyn. **26** (2001), Nr.2, S.191-202
- [3] HEINLOTH, K., Die Energiefrage: Bedarf und Potentiale, Nutzung, Risiken und Kosten. 2. Aufl., Vieweg 2003
- [4] JISCHA, M.F., Herausforderung Zukunft. Technischer Fortschritt und ökologische Perspektiven. Spektrum Akad. Verlag 1993
- [5] KÄRNER, H., Energie, Umwelt, Klima. Braunschw.Wiss.Ges. Jahrbuch 1996, S.61-66
- [6] HUND, F., Die physikalischen Rahmenbedingungen unseres Daseins. Georgia Augusta, Göttingen 1976
- [7] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi): Nachhaltige Energiepolitik für eine zukunftsfähige Energieversorgung. Berlin 2001
- [8] LEONHARD, W. & K. MÜLLER, Balancing fluctuating Wind Energy with fossil Power Stations. 12 ELECTRA 204, Oct.2002, S.12-18
- [9] KIND, R., U. HANSEN & F. R. SCHILLING, Die Physik des Erdmantels. Physik Journal 1 (2002), Nr.**10**, S.33-39

Zum hier angesprochenen Problemkreis siehe auch den Beitrag von H.-W. Partenscky auf Seite 125 ff. dieses Bandes.